



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 105 371** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **H 01 B 12/00, 12/10, 13/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 94040892/09, 18.11.1994

(30) Приоритет: 19.11.1993 JP 5-290714

(46) Дата публикации: 20.02.1998

(56) Ссылки: 1. SU, патент, 4088512, кл.Н 01 L 39/00, 1978. 2. ЕР, заявка 0528036, кл.Н 01 В 12/10, 1991.

(71) Заявитель:  
Сумитомо Электрик Индастриз, Лтд. (JP)

(72) Изобретатель: Наоки Айяи[JP],  
Ючи Ямада[JP]

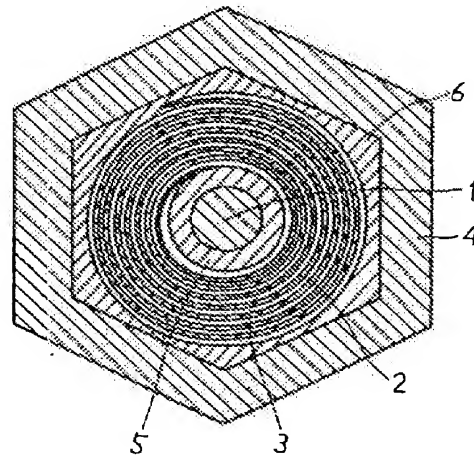
(73) Патентообладатель:  
Сумитомо Электрик Индастриз, Лтд. (JP)

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПРОВОДА ИЗ Nb<sub>3</sub>Al И УСТАНОВКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА

(57) Реферат:

Использование: в электротехнике при изготовлении сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al, который имеет высокую сверхпроводимость и однородность характеристик и может применяться для изготовления крупногабаритных проводников или катушек индуктивности. Сущность изобретения: композит, содержащий Nb и Al, формируют в виде композитного Nb/Al провода, состоящего из металлического Nb или сплава Nb и металлического Al или сплава Al. При термообработке полученного композитного провода его перемещают через зону повышения температуры печи для нагрева от комнатной температуры до установленной температуры, затем перемещают нагретый композитный провод через зону выдержки температуры печи для выдерживания его при упомянутой установленной температуре. Выдержанный при упомянутой установленной температуре провод перемещают через зону охлаждения для охлаждения от упомянутой установленной температуры до комнатной температуры. На последней стадии осуществляют его заключительную

термообработку. При этом упомянутые операции нагрева композитного провода, его выдержки при установленной температуре и охлаждения осуществляют непрерывно при непрерывном его перемещении. 2 с. и 5 з.п. ф-лы, 1 табл., 3 ил.



Фиг.1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 105 371** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) Int. Cl.<sup>6</sup> **H 01 B 12/00, 12/10, 13/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 94040892/09, 18.11.1994

(30) Priority: 19.11.1993 JP 5-290714

(46) Date of publication: 20.02.1998

(71) Applicant:  
Sumitomo Ehlektrik Indastriz, Ltd. (JP)

(72) Inventor: Naoki Ajjai[JP],  
Juchi Jamada[JP]

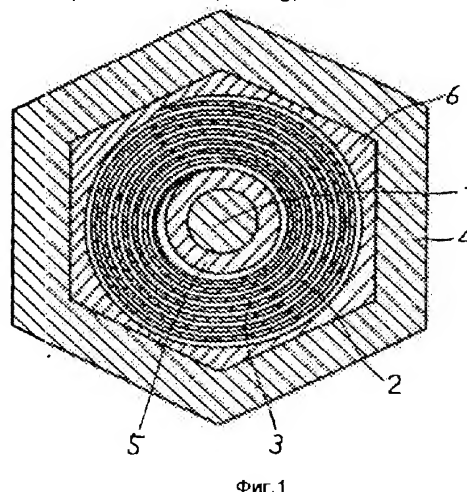
(73) Proprietor:  
Sumitomo Ehlektrik Indastriz, Ltd. (JP)

(54) **METHOD FOR PRODUCING SUPERCONDUCTING WIRE AND FACILITY IMPLEMENTING IT**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering. SUBSTANCE: wire is produced from  $Nb_3Al$  material possessing high superconducting properties and uniform characteristic. Composite material incorporating niobium and aluminium is shaped to obtain composite wire Nb/Al composed of niobium or its alloy and aluminium or its alloy. During heat treatment, composite wire is passed through increased-temperature region of furnace for heating it from room temperature to preset point; then heated composite wire is passed through furnace temperature maintenance region to exposed it to mentioned preset temperature. Wire held at mentioned preset temperature is then passed through cooling region to cool it down from mentioned preset temperature to room temperature. For final operation, it is also subjected to heat treatment. Mentioned heating, exposure, and cooling operations are made continuously while displacing wire throughout entire

process. EFFECT: improved superconducting properties and uniformity of characteristics of wire produced. 7 cl, 3 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

RU 2 105 371 C1

RU 2 105 371 C1

Изобретение относится к способам изготовления сверхпроводящего провода, более конкретно, к способу изготовления сверхпроводящего провода из  $Nb_3Al$ , использующегося в качестве сверхпроводящих материалов для создания сильных магнитных полей в сверхпроводящих магнитах, которые применяются в ядерном синтезе или в подобных установках.

Сверхпроводящий материал  $Nb_3Al$  может использоваться, в частности, в качестве материала для реактора ядерного синтеза, где в сильном магнитном поле материал подвергается воздействию значительных магнитных сил. Этот сверхпроводящий материал может использоваться в качестве сверхпроводящего материала, накапливающего энергию, вследствие большого критического тока и очень хорошего сопротивления к деформации в сильном магнитном поле. Однако, трудно изготовить тонкую проволоку из  $Nb_3Al$ , который является интерметаллическим соединением, вследствие низкой его пригодности к обработке и неоднородности, в отличие от сверхпроводящего материала, например, сплава  $Nb-Ti$ . Поэтому, для того чтобы получить сверхпроводящий провод из  $Nb_3Al$ , металлический  $Nb$  и металлический  $Al$ , обычно соединяют друг с другом, образуя композиционный материал, и затем вытягивают его в тонкий провод, который, в свою очередь, на заключительной стадии подвергают термообработке.

Кроме того,  $Nb_3Al$  стабилизируется в бинарную систему  $Nb-Al$  только при высокой температуре по меньшей мере  $1600^{\circ}C$ . Поэтому, для того чтобы сформировать  $Nb_3Al$  при более низкой температуре, необходимо уменьшить расстояние между диффузионными парами  $Nb$  и  $Al$  до нескольких десятков нм с помощью пластичного проката или другого подобного способа.

Однако в композиционном материале  $Nb_3Al$ , который изготавливают путем соединения металлов  $Nb$  и  $Al$ , вследствие низкой пригодности к обработке, волокна из такого материала, выполненные в виде тонкого провода, проявляют неоднородную деформацию. Поэтому сверхпроводящий провод из  $Nb_3Al$ , полученный при тепловой обработке этого композиционного материала, не может иметь достаточно высокую плотность критического тока.

Кроме того, сверхпроводящее соединение, такое как  $Nb_3Al$ , скручивают в катушку так называемым методом "реактивной намотки" перед термообработкой, поскольку сверхпроводящие свойства в значительной степени ухудшаются при такой деформации как изгиб. Однако, когда сформированная катушка увеличивается в размере, то трудно выполнить однородную термообработку такой катушки в целом.

Для того, чтобы улучшить сверхпроводимость, предпочтительно, чтобы сформированный материал  $Nb_3Al$  имел состав, близкий к стехиометрическому, и обладал тонкокристаллической структурой зерен. Такой материал может быть получен при осуществлении такой термообработки, когда за короткое время температуру поднимают до максимально возможной

температуры, при которой этот  $Nb_3Al$  выдерживают, а затем резко охлаждают материал до комнатной температуры. Однако осуществить таким образом термообработку и охлаждение большой по размеру катушки очень сложно.

Известен способ изготовления сверхпроводящего провода, согласно которому твердый раствор метастабильного  $Nb-Al$  формируется путем непосредственного резистивного нагрева [1]. В известном способе требуется применение высокой температуры. Поэтому медь или медный сплав не могут быть использованы в качестве стабилизирующего материала.

Известен также способ изготовления сверхпроводящего провода, согласно которому многожильный провод, состоящий из  $Nb$  в качестве базового металла и сердцевины из алюминия или алюминиевого сплава, погружается в расплавленный металл для образования стехиометрической композиции  $Nb_3Al$  и покрытия стабилизирующего материала, затем провод охлаждается до комнатной температуры и вновь подвергается термообработке [2]. Из этого же источника известна установка для изготовления сверхпроводящего провода, содержащая средства нагрева и средства охлаждения. В этом известном устройстве термообработка проводится в ванне расплавленного стабилизирующего металла и вся линия помещена в отдельную камеру, соединенную с вакуумным насосом и источником подачи инертного газа.

К недостаткам известного решения можно отнести то, что в качестве базового металла в нем использован  $Nb$ , являющийся сверхпроводником при низком уровне магнитного поля. Поскольку  $Nb$  имеет меньшую теплопроводность и более высокое электрическое удельное сопротивление, чем медь и подобные ей материалы, то получаемый в результате продукт характеризуется как тепловой, так и электромагнитной нестабильностью.

Для решения вышеуказанных проблем в данном изобретении предлагается способ изготовления сверхпроводящего провода из  $Nb_3Al$ , имеющего очень хорошую сверхпроводимость и однородные, характеристики. Такие провода могут применяться для изготовления крупномасштабных проводников или катушек индуктивности.

Указанный результат, в соответствии с изобретением, достигается в способе изготовления сверхпроводящего провода из  $Nb_3Al$ , при котором композит, содержащий  $Nb$  и  $Al$ , подвергают термообработке, включающей этапы нагрева и охлаждения, при котором композит, содержащий  $Nb$  и  $Al$ , формируют в виде композитного  $Nb/Al$  провода, состоящего из металлического  $Nb$  или сплава  $Nb$  и металлического  $Al$  или сплава  $Al$ , а при термообработке полученного композитного  $Nb/Al$  провода перемещают его через зону повышения температуры печи для нагрева от комнатной температуры до установленной температуры, затем перемещают нагретый композитный  $Nb/Al$  провод через зону выдержки температуры печи для выдерживания его при упомянутой установленной температуре, затем перемещают композитный  $Nb/Al$  провод,

выдержанный при упомянутой установленной температуре, через зону охлаждения для его охлаждения от упомянутой установленной температуры до комнатной температуры, после чего осуществляют заключительную термообработку композитного Nb/Al провода, прошедшего через зону охлаждения, при этом упомянутые операции нагрева композитного Nb/Al провода, его выдержки при установленной температуре и охлаждения осуществляют непрерывно при непрерывном перемещении упомянутого композитного Nb/Al провода.

Согласно данному изобретению этап нагрева композитного Nb/Al провода от комнатной температуры до заданной температуры и этап выдержки провода при заданной температуре осуществляют непрерывно посредством непрерывного перемещения провода. В результате чего осуществляют непрерывную тепловую обработку композитного Nb/Al провода. Таким образом возможно проводить тепловую обработку композитного Nb/Al провода при более высокой температуре за более короткое время по сравнению с традиционной обработкой по частям. Следовательно, возможно гомогенное формирование Nb<sub>3</sub>Al, который имеет состав близкий к стехиометрическому и высокую плотность граничных зерен композитов Nb/Al провода, которые служат пеннинговыми центрами вдоль всей длины провода.

Кроме того, согласно данному изобретению вышеупомянутую термообработку выполняют непрерывно при непрерывном перемещении провода. Поэтому, можно охладить композитный Nb/Al провод за более короткое время по сравнению с традиционной обработкой по частям. Следовательно, возможно сохранить высокие показатели Nb<sub>3</sub>Al, который формируется на этапах тепловой обработки.

Предпочтительно, чтобы время нагрева провода от комнатной температуры до установленной температуры было в пределах 1 мин. Если это время превышает 1 мин, то трудно сформировать Nb<sub>3</sub>Al, который по составу близок к стехиометрическому и имеет высокую плотность граничных зерен.

Предпочтительно, чтобы время охлаждения провода от установленной температуры до комнатной температуры также было в пределах 1 мин. Если это время превышает 1 мин, трудно сохранить высокие характеристики сформированного Nb<sub>3</sub>Al.

Предпочтительно, чтобы установленная температура составляла по меньшей мере 800°C.

В этом случае возможно сформировать Nb<sub>3</sub>Al, который по составу близок к стехиометрическому и имеет высокую плотность граничных зерен, служащих пеннинговыми центрами. Если установленная температура имеет максимально возможную величину в пределах диапазона, в котором матрица не плавится, и провод выдерживается при установленной температуре менее нескольких десятков секунд, то возможно сформировать Nb<sub>3</sub>Al, имеющий более высокие характеристики.

Предпочтительно, чтобы способ дополнительно включал этап нагрева композитного Nb/Al провода, который

проходит через охлажденную часть, до температуры не более чем 800°C в течение по меньшей мере 10 ч. В этом случае неоднородная деформация, которой подвержены кристаллы смешанной фазы Nb<sub>3</sub>Al, уменьшается настолько, что возможно получить сверхпроводящий провод из Nb<sub>3</sub>Al, дающий гомогенные характеристики вдоль всей длины провода с высокой плотностью критического тока.

Согласно данному изобретению возможно использовать композитный Nb/Al провод, в состав которого входит медь или сплав меди для стабилизации.

Вышеуказанный результат достигается также тем, что установка для изготовления сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al, содержащая средство нагрева и средство охлаждения, в соответствии с изобретением содержит средство для подачи и перемещения композитного Nb/Al провода, состоящего из металлического Nb или сплава Nb и металлического Al или сплава Al, средство нагрева выполнено в виде печи, имеющей зону повышения температуры и зону выдержки температуры, размещенные последовательно на пути перемещения композитного Nb/Al провода, а средство охлаждения выполнено в виде охлаждающего резервуара, размещенного на пути перемещения композитного Nb/Al провода за зоной выдержки температуры печи.

На фиг. 1 представлено сечение, изображающее структуру гексагонального участка, сформированного путем "желейной" (пластичной) прокатки; на фиг. 2 - сечение, схематично изображающее структуру композитного Cu/Nb/Al) многожильного провода, и на фиг. 3 - сечение, изображающее вариант осуществления установки для изготовления сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al согласно данному изобретению.

Пример 1

Лист ниобия и лист алюминия намотаны на медный стержень в виде чередующихся витков, а полученная обмотка вставлена в медную трубку и затем подвергнута вытяжке с образованием гексагонального сечения.

На фиг. 1 представлено сечение, изображающее структуру гексагонального участка, сформированного вышеупомянутым способом.

Согласно фиг. 1, этот гексагональный участок образован медной матрицей 1, которая расположена в его центре, металлическим листом ниобия 2 и металлическим листом алюминия 3, которые поочередно намотаны на матрицу 1, а также медной матрицей 4, которая сформирована вокруг них. Медные матрицы 1 и 4 выполняют функцию стабилизирующих материалов. На граничных участках между обмоткой, выполненной чередующейся намоткой металлических листов ниобия 2 и алюминия 3, и медными матрицами 1 и 4, которые находятся в центре и по внешней окружности обмотки, намотан только металлический лист ниобия, который определяет диффузионные барьерные слои 5 и 6, соответственно.

Из 520 таких гексагональных сегментов, соединенных и вставленных в медную трубку изготовлен композитный Cu/Nb/Al многожильный провод, имеющий сечение 1,29 мм. Для этого медную трубку с

гексагональными сегментами подвергли обработке в процессах протягивания с экструзионным прессованием и растягиванием, скручиванию и формовке.

На фиг.2 представлено сечение, схематично изображающее структуру композитного Cu/Nb/Al многожильного провода, полученного вышеупомянутым способом.

Согласно фиг.2, этот композитный многожильный провод сформирован из стабилизирующего материала 7, состоящего из меди, и нескольких заделанных в него жил 8. Стабилизирующий материал 9, состоящий из меди, находится в центре каждой жилы 8.

Композитный многожильный провод, полученный вышеупомянутым способом, подверглся тепловой обработке согласно данному изобретению для изготовления сверхпроводящего многожильного провода из Nb<sub>3</sub>Al.

На фиг.3 представлено сечение, изображающее вариант установки для изготовления сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al согласно данному изобретению.

Как показано на фиг.3, установка включает печь непрерывной термообработки (трубчатая электрическая печь) 12, содержащую зону повышения температуры 10 и зону выдержки 11, охлаждающий резервуар 13, подающую катушку 15, обеспечивающую подачу композитного многожильного провода 14 в печь непрерывной термообработки 12, а также приемную катушку 17, обеспечивающую прием сверхпроводящего провода 16 из Nb<sub>3</sub>Al, полученного после прохождения композитного многожильного провода через охлаждающий резервуар 13.

Композитный Cu/Nb/Al (многожильный) провод 14, полученный вышеупомянутым способом, пропускали через зону повышения температуры 10 с помощью подающей катушки 15. Композитный многожильный провод 14 пропускали через зону повышения температуры 10 за 30 с, при этом его нагревали от комнатной температуры до 900 °C. Затем композитный многожильный провод 14 пропускали через зону выдержки 11 при температуре 300 в течение 1 мин, при этом в течение 1 мин его температуру поддерживали на уровне 900°C. Во время этого нагрева при пропускании композитного многожильного провода 14 через трубчатую электрическую печь 12, включающую зону повышения температуры 10 и зону выдержки 11, печь находилась в атмосфере азота. Затем, нагретый провод 14 пропускали через охлаждающий резервуар 13 в течение 30 с, для того чтобы охладить до комнатной температуры, и после этого подавали на приемную катушку 17.

Провод, обработанный вышеупомянутым образом, в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при температуре 750°C в течение 50 ч, в результате чего получали сверхпроводящий провод из Nb<sub>3</sub>Al.

#### Пример 2

Композитный Cu/Nb/Al многожильный провод, описанный в примере 1, пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота и через охлаждающий резервуар 13 аналогичным образом, как в примере 1, за исключением режима нагрева.

Композитный многожильный провод пропускали через зону повышения температуры 10 в течение 30 с, для обеспечения нагрева за 30 с до 1050°C. При этой температуре его пропускали через зону выдержки 11 в течение 1 мин, а затем - через охлаждающий резервуар 13, в котором его охлаждали до комнатной температуры за 30 с.

Обработанный таким образом провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при 750°C в течение 50 ч для получения сверхпроводящего проводника из Nb<sub>3</sub>Al, так же как в примере 1.

#### Пример 3

Композитный Cu/Nb/Al многожильный провод, описанный в примере 1, пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота и через охлаждающий резервуар, так же как в примере 1, за исключением режима нагрева. Композитный многожильный провод пропускали через зону повышения температуры 10 в течение 1 мин, для обеспечения нагрева за 1 мин до температуры 1050°C. При этой температуре его выдерживали в зоне выдержки 11 в течение 1 мин, а затем пропускали через охлаждающий резервуар 13, в котором за 30 с охлаждали до комнатной температуры.

Обработанный таким образом провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при температуре 750°C в течение 50 ч для получения сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al, так же как в примере 1.

#### Пример 4

Композитный Cu/Nb/Al многожильный провод, описанный в примере 1, пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота и через охлаждающий резервуар 13, так же как в примере 1, за исключением режима нагрева. Композитный многожильный провод пропускали через зону повышения температуры 10 в течение 2 мин, для обеспечения нагрева за 2 мин до 1050 °C. При этой температуре его выдерживали в зоне выдержки 11 в течение 1 мин, а затем пропускали через охлаждающий резервуар 13, в котором за 30 с его охлаждали до комнатной температуры.

Обработанный таким образом провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при температуре 750°C в течение 50 ч, так же как в примере 1, для получения сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al.

#### Пример 5

Композитный Cu/Nb/Al многожильный провод, описанный в примере 1, пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота и через охлаждающий резервуар 13, так же как в примере 1, за исключением режима нагрева. Композитный многожильный провод пропускали через зону повышения температуры 10 в течение 30 с, для обеспечения нагрева за 30 с до 1050 °C. При этой температуре его выдерживали в зоне выдержки 11 в течение 2 мин, а затем пропускали через охлаждающий резервуар 13, в котором его охлаждали за 30 с до комнатной температуры.

Обработанный таким образом провод в дальнейшем подвергали термообработке в



Полученный таким образом скрученный провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при 750°C в течение 50 ч, так же как в примере 1, для получения сверхпроводящего скрученного провода из Nb<sub>3</sub>Al.

#### Пример 13

Три композитных Cu/Nb/Al многожильных провода, описанных в примере 1, скручивали в пучок с шагом 30 мм для получения композитного скрученного провода. Этот композитный скрученный провод пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота, так же как в примере 1, притом же режиме нагрева. А именно, скрученный провод пропускали через зону повышения температуры 10, в которой его нагревали за 30 с до 900°C. Далее провод выдерживали в зоне выдержки 11 при этой температуре в течение 1 мин, а затем его пропускали через охлаждающий резервуар, в котором его за 30 с охлаждали до комнатной температуры.

Обработанный таким образом скрученный провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при 750°C в течение 50 ч, так же как в примере 1, для получения сверхпроводящего скрученного провода из Nb<sub>3</sub>Al.

#### Пример 14

Три композитных Cu/Nb/Al многожильных провода, описанных в примере 1, скручивали в пучок с шагом 30 мм для получения композитного скрученного провода. Этот композитный скрученный провод пропускали через трубчатую электрическую печь 12 в атмосфере азота, так же как в примере 1, при режиме нагрева как в примере 2. А именно, скрученный провод пропускали через зону повышения температуры 10, в которой его нагревали за 30 с до 1050°C. Далее провод выдерживали в зоне выдержки 11 при этой температуре 1 мин, а затем пропускали через охлаждающий резервуар 13, в котором за 30 с его охлаждали до комнатной температуры.

Обработанный таким образом скрученный провод в дальнейшем подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при 750°C в течение 50 ч, так же как в примере 1, для получения сверхпроводящего скрученного провода из Nb<sub>3</sub>Al.

#### Сравнительный пример

Три композитных Cu/Nb/Al многожильных провода, описанных в примере 1, скручивали в пучок с шагом 30 мм для получения композитного скрученного провода. Этот композитный скрученный провод подвергали термообработке в вакуумной электрической печи при 800°C в течение 10 ч для получения сверхпроводящего скрученного провода из Nb<sub>3</sub>Al.

Сверхпроводящие провода из Nb<sub>3</sub>Al и сверхпроводящие скрученные провода из Nb<sub>3</sub>Al, полученные согласно примерам от 1 до 14 и согласно сравнительному примеру, использовали для измерений плотности критического тока при 4.2 К и 12 Т, а также для измерений верхнего критического магнитного поля при 4.2 К. Измерение критической плотности тока производилось на участках, не содержащих медь. Результаты показаны в таблице.

Из таблицы отчетливо видно, что

сверхпроводящие провода из Nb<sub>3</sub>Al и сверхпроводящие скрученные провода из Nb<sub>3</sub>Al, полученные согласно примерам 1-14, имеют более высокие плотности критического тока по сравнению с сверхпроводящим скрученным проводом Nb<sub>3</sub>Al г, полученным в примере, использованном для сравнения.

Изобретение применимо также и для изготовления катушек индуктивности с высокой плотностью критического тока, при использовании для намотки сверхпроводящего провода Nb<sub>3</sub>Al, который изготовлен согласно данному изобретению и при последующей термообработке этой катушки.

Согласно данному изобретению, как описано выше, возможно изготовить сверхпроводящий провод из Nb<sub>3</sub>Al, имеющий однородные характеристики вдоль всей длины провода или пучка, соответственно, с высокой критической плотностью тока. Поэтому, данное изобретение применимо также для изготовления крупногабаритных проводников или катушек.

Согласно данному изобретению нет необходимости подвергать провод интенсивной обработке при его изготовлении, поэтому исключается опасность разрыва провода, следствием чего является повышение производительности процесса его изготовления.

Изобретение не ограничивается приведенными иллюстрациями и примерами. Сущность и объем данного изобретения ограничиваются только признаками формулы изобретения.

#### Формула изобретения:

1. Способ изготовления сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al, при котором композит, содержащий Nb и Al, подвергают термообработке, включающей этапы нагрева и охлаждения, отличающийся тем, что композит, содержащий Nb и Al, формируют в виде композитного Nb/Al-провода, состоящего из металлического Nb или сплава Nb и металлического Al или сплава Al, а при термообработке полученного композитного Nb/Al-провода перемещают его через зону повышения температуры печи для нагрева от комнатной температуры до установленной температуры, затем перемещают нагретый композитный Nb/Al-провод через зону выдержки температуры печи для выдерживания его при упомянутой установленной температуре, затем перемещают композитный Nb/Al-провод, выдержанный при установленной температуре, через зону охлаждения для его охлаждения от установленной температуры до комнатной температуры, после чего осуществляют заключительную термообработку композитного Nb/Al-провода, прошедшего через зону охлаждения, при этом операции нагрева композитного Nb/Al-провода, его выдержки при установленной температуре и охлаждения осуществляют непрерывно при непрерывном перемещении композитного Nb/Al-провода.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что время нагрева композитного Nb/Al-провода и время его охлаждения выбирают в пределах 1 мин.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что установленную температуру выбирают по

меньшей мере 800°C.

4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что композитный Nb/Al-провод включает в себя медь или сплав меди для стабилизации.

5. Способ по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что композитный Nb/Al-провод изготавливают путем пластичной прокатки.

6. Способ по любому из пп. 1-5, отличающийся тем, что при осуществлении заключительной термообработки нагревают прошедший через зону охлаждения композитный Nb/Al-провод до температуры не более 800°C в течение по меньшей мере 10 ч.

7. Установка для изготовления

сверхпроводящего провода из Nb<sub>3</sub>Al, содержащая средство нагрева и средство охлаждения, отличающаяся тем, что содержит средство для подачи и перемещения композитного Nb/Al-провода, состоящего из металлического Nb или сплава Nb и металлического Al или сплава Al, средство нагрева выполнено в виде печи, имеющей зону повышения температуры и зону выдержки температуры, размещенные последовательно на пути перемещения композитного Nb/Al-провода, а средство охлаждения выполнено в виде охлаждающего резервуара, размещенного на пути перемещения композитного Nb/Al-провода за зоной выдержки температуры печи.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

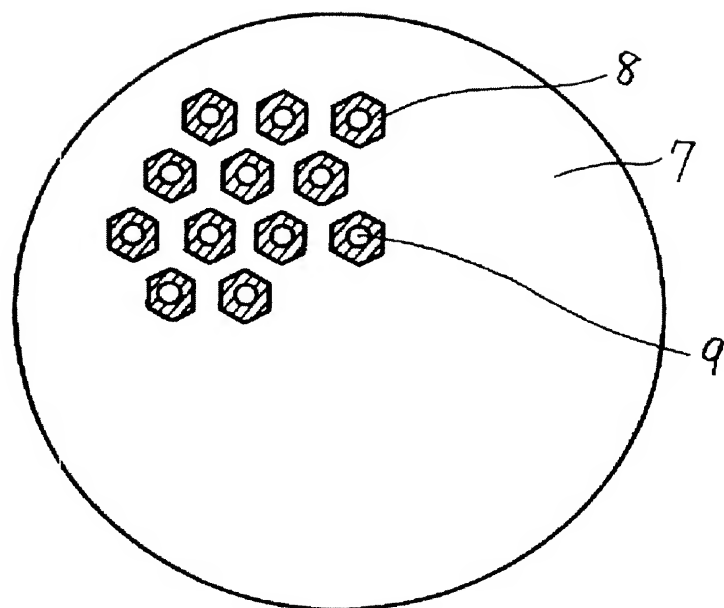


Таблица 1

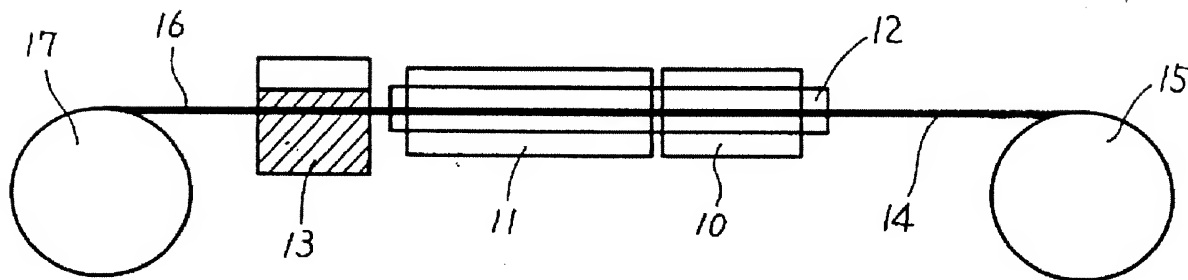
Пример №	Критическая плотность тока	Верхнее критическое магнитное поле (4.2 К)
Пример 1	680 А/мм <sup>2</sup>	21,5 Т
Пример 2	850 А/мм <sup>2</sup>	22 Т
Пример 3	780 А/мм <sup>2</sup>	21,8 Т
Пример 4	740 А/мм <sup>2</sup>	21,6 Т
Пример 5	790 А/мм <sup>2</sup>	22 Т
Пример 6	680 А/мм <sup>2</sup>	22 Т
Пример 7	530 А/мм <sup>2</sup>	21,8 Т
Пример 8	320 А/мм <sup>2</sup>	21,5 Т
Пример 9	820 А/мм <sup>2</sup>	21,9 Т
Пример 10	780 А/мм <sup>2</sup>	21,7 Т
Пример 11	550 А/мм <sup>2</sup>	21,5 Т
Пример 12	710 А/мм <sup>2</sup>	22 Т
Пример 13	650 А/мм <sup>2</sup>	21,5 Т
Пример 14	820 А/мм <sup>2</sup>	22 Т
Сравнительный пример	490 А/мм <sup>2</sup>	20 Т

RU 2105371 C1

RU 2105371 C1



Фиг.2



Фиг.3